

BM DEVELOPMENT
LABORATORY
NETHERLANDS

Optische Achromatisme

*Verlag für die Naturwissenschaften
1964*

G. de Groot

Een optisch leesapparaat voor gestyleerde tekens
van het " OCR A " type

door J. G. de Graan

verslag van een periode van praktisch werken verricht in het IBM
Ontwikkelingslaboratorium te Uithoorn van 1 juli tot 1 september 1964.

* * *

INHOUDSOPGAVE

	<u>blz.</u>
Korte samenvatting	1
1. Inleiding	2
2. het "OCR A" cijfertype	3
3. Herkenning	4
3.1 De waarnemer	4
3.2 De Beslisser	6
3.3 Verticale Plaatsbepaling	9
3.4 Scheefstaande Tekens	11
3.5 Verticale afstand tussen de tekens	12
4. Organisatie van de Beslisser	14
4.1 Klokpulsgenerator	14
4.2 Schuifregister	14
4.3 Startschakeling	14
4.4 Kolomteller	16
4.5 Twee Synchronisatietellers	17
4.6 Verticale streepdetektie	18
4.7 Horizontale streepdetektie	19
4.8 Tekenbeslisser	20
5. Redunantie Reduktie	22
5.2 Vermindering van het afwijzingspercentage	24
6. Conclusie	25
7. Literatuur	26
Bijlage I Afleiding van kwalitatieve vergelijkingsformules	28
Bijlage II Bepaling van de afstand tussen de kolommen	31

KORTE SAMENVATTING

Er wordt een optisch tekensleesysteem behandeld voor gestyleerde cijfers en enige speciale symbolen, het "OCR A" cijfer type.

Er wordt ingegaan op de principes van herkenning, waarbij vooral aandacht wordt geschonken aan afwijkingen in de gedrukte tekens.

De logische organisatie van een herkenningsschakeling op basis van een kolomsgewijze aftasting van het teken wordt beschreven.

Tenslotte wordt in een bijlage een kwalitatieve toets afgeleid om het onderscheidingsvermogen van diverse methoden te vergelijken. Deze toets kan tevens gebruikt worden om een zinvolle redundantie reductie te bereiken.

1. INLEIDING

Onder een tekenleesmachine wordt hier een machine verstaan, die gedrukte tekens leest waaraan de mens dezelfde betekenis toekent als de machine. Deze definitie sluit ponskaartlezers en machines die potloodstrepen waar kunnen nemen, uit (zie lit. opgave 2).

Het in vergelijking met de mens zeer weinig gedifferentieerde herkenningsvermogen van de leesmachine maakt een zinvolle toepassing slechts dan mogelijk wanneer vergaande beperkingen met betrekking tot blikveld, cijfertype en drukkwaliteit mogelijk zijn. Aan de andere kant dienen de voordelen van een machine t. o. v. de mens, zoals snelheid, onvermoeibaarheid en betrouwbaarheid ten volle benut te kunnen worden.

De meeste toepassing heeft de leesmachine tot nu toe gevonden in die bedrijven, waar voortdurend een groot aantal dokumenten wordt verwerkt en waarop de te lezen informatie als een rij van cijfers op het dokument is gedrukt. Hiertoe neemt de machine de dokumenten één voor één van een stapel en voert ze langs de leeskop. De voortbeweging onder de leeskop geschiedt parallel aan de te lezen rij van cijfers, zodat deze één voor één gelezen kunnen worden. Eventueel worden de dokumenten op grond van het gelezen gesorteerd. Ook is het mogelijk een rekenautomat aan de leesmachine te koppelen om de opgenomen informatie direkt te verwerken.

De gelezen tekens kunnen ook worden opgenomen in een geheugen in de vorm van een magnetische band, geponste papierstrook, ponskaart enz. De snelheid van de leesmachine wordt hoofdzakelijk door de transportinrichting bepaald. Een aantal van 30 dokumenten per seconde is ongeveer het huidige maximum, dat vele malen boven het door de mens bereikbare ligt. Op het dokument kunnen 10 cijfers per inch gedrukt staan; op een chèque van 15 cm lengte kunnen tot 50 tekens voorkomen per regel, die alle gelezen moeten worden. De leesmachine zal dus tenminste 1500 teken per sekonde moeten kunnen lezen.

Het is een nog niet besliste strijdvraag of een leesmachine lange optische of magnetische weg dient te lezen. In een optische leesmachine wordt er een lichtbundel op het teken gericht. Het teruggekaatste licht is door het

teken gemoduleerd, daar bedrukt papier minder reflecteert dan wit papier. Indien de gebruikte inkt gemagnetiseerd is, zal in een spoeltje van een leeskop dat zich dicht bij het bedrukte papier bevindt, een inductiestroom worden opgewekt. Uit de variatie van deze stroom in de tijd kan het teken afgeleid worden. Als voordeel van magnetisch lezen ten opzichte van optisch lezen mag de geringe gevoeligheid voor vervuilingen, stempels, enz. gelde. Nadelig is het dat er slechts dure, eenmalige inktlinten gebruikt kunnen worden in de druk- of schrijfmachine. Indien men een kasregisterrol wil lezen, is een optische leesmachine het aangewezen apparaat.

2. Het "OCR A" CIJFERTYPE

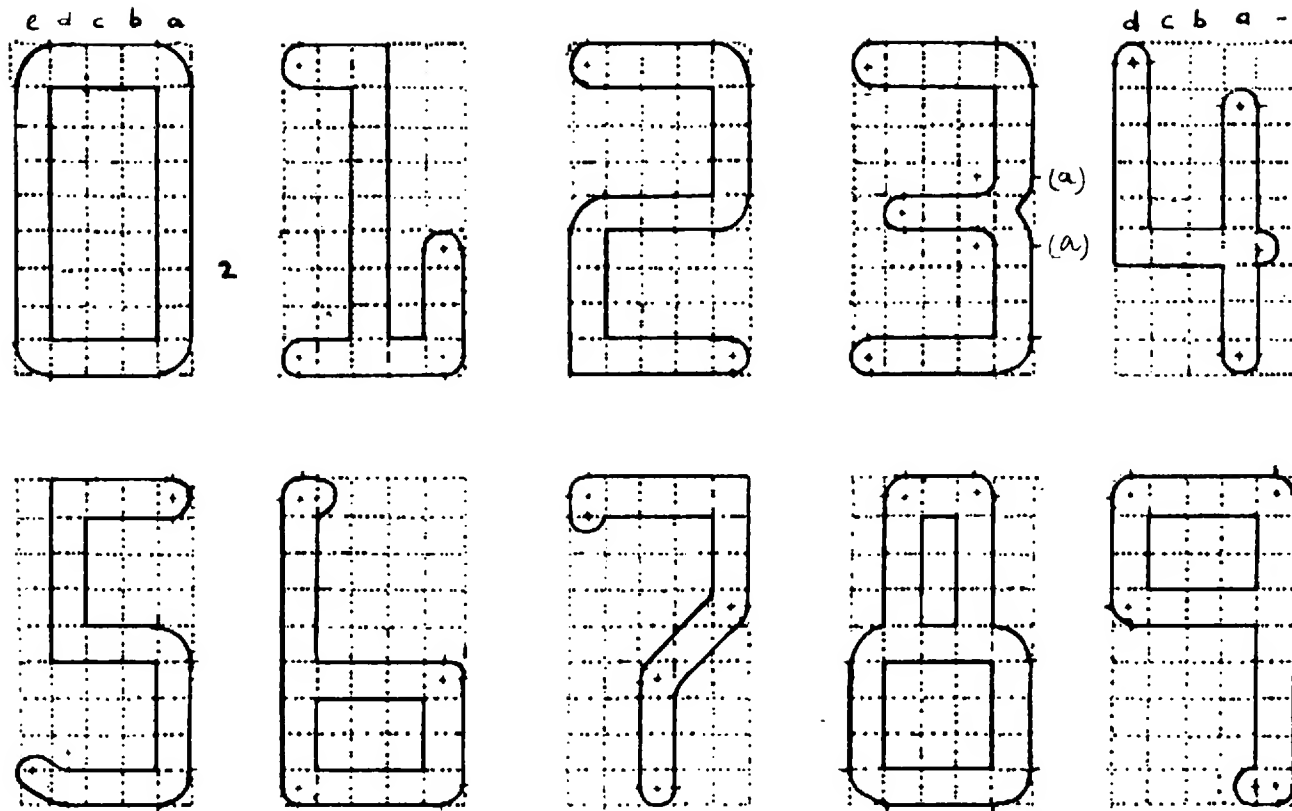
Zijn gestyleerde gedrukte cijfers eenvoudiger te lezen dan handgeschreven cijfers, voor een leesmachine die betalingsformulieren moet lezen zijn ze absoluut noodzakelijk. Het percentage substituties (verwisseling van de tekens) geeft direct aan of de machine geschikt is voor het bankwezen. Het percentage substituties mag niet meer dan één op enkele honderdduizend tekens bedragen, terwijl niet meer dan 7 op de tienduizend tekens als onleesbaar mag worden afgewezen.

Door de International Standards Organisation is een gestyleerd cijfertype voorgesteld voor optische tekenherkenning, het "OCR A" cijfertype (OCR is de afkorting van Optical Character Recognition). De vorm der tekens is een compromis tussen esthetisch voorkomen en leesbaarheid volgens diverse systemen.

Ook is rekening gehouden met de nauwkeurigheid, die men van schrijfmachines, regeldrukkers e.a. kan eisen. Figuren 1 en 2 geven de tekens sterk vergroot weer, terwijl zij in figuur 3 op normale schaal zijn te zien. De nominale lijndikte is 0,35 mm, maximale breedte gemeten tussen de middellijnen der verticale strepen is 1,40 mm, terwijl de maximale hoogte gemeten tussen de middellijnen der horizontale strepen 2,39 mm is. Twee belangrijke toleranties zijn die betreffende de lijndikte en de afstand tussen de middellijnen der strepen. Dit is respectievelijk 0,20 mm en 0,07 mm.

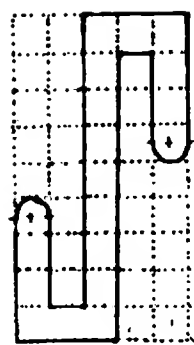
De verhouding tussen maximale en minimale streepdikte is 2,5. Deze verhouding moet wel vrij groot gekozen worden, omdat de dikte van schrijfmachineschrift sterkt afhankelijk is van de ouderdom van het gebruikte inktlint.

OCR "A" cijfers

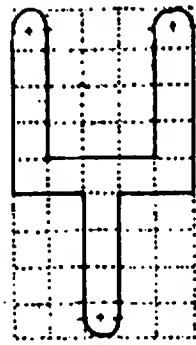


figuur 1

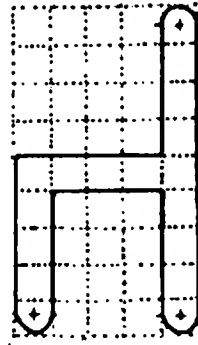
speciale symbolen



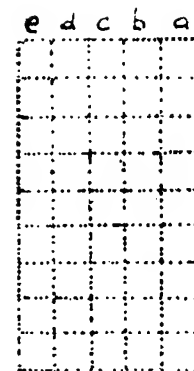
HOOK



FORK



CHAIR



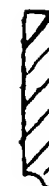
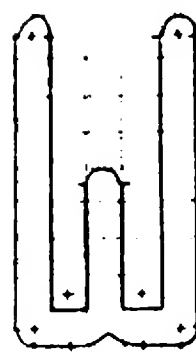
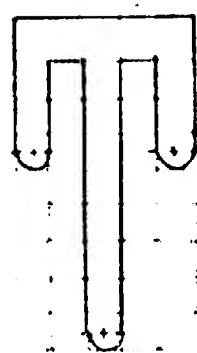
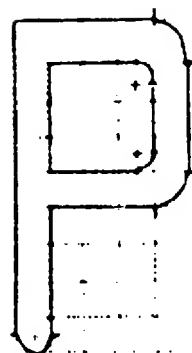
1

2



LONG VERTICAL MARK
(14 or more cells long)

figure 2



LONG VERTICAL MARK
(14 or more cells long)

De onderkant van het dokument wordt als referentielijn gebruikt. Ten opzichte van deze lijn mag een teken niet meer dan 30° afwijken van de verticale stand. De afstand van de onderzijde van het teken tot de referentielijn ligt niet vast. Het leessysteem zal in de meeste gevallen het teken moeten zoeken.

3. HERKENNING

De betekenis van een teken ligt vastgelegd in de karakteristieke contrasten op het papier. De leesmachine neemt deze contrasten waar en beslist welk teken is waargenomen. De leesmachine kan men daarom functioneel in twee onderdelen splitsen:

1. De waarnemer Dit onderdeel zet de optische informatie om in b.v. elektrische. Deze elektrische informatie wordt door versterking geschikt gemaakt voor:

2. De beslisser. De beslisser onderzoekt het signaal afkomstig van de waarnemer en beslist welk teken gelezen is.

Als men een leesmachine met de mens wil vergelijken dan komt de waarnemer overeen met onze ogen en de beslisser met een gedeelte van onze hersenen. Andere delen van de hersenen vervullen de rol van de aangekoppelde rekenautomaat.

Men kan de waarnemer en de beslisser niet geheel van elkaar gescheiden denken. Een ideale waarnemer geeft alle informatie door aan de beslisser, die relevant is, doch niets meer (3, 14)

3.1 De waarnemer

Voor de verwerking van de waarnemer zijn diverse technieken ontwikkeld. In een onlangs verschenen nederlandse uitgave geeft Steinbu (12) een vrij uitgebreid overzicht. Het is opvallend dat technieken die op het eerste gezicht bijzonder aantrekkelijk zijn, in de praktijk zelden of niet worden toegepast.

Selected class A shapes (.056 " x .094 " or 1,42 mm x 2,38 mm)

FIGUUR 3

01234567891011

relatieve reilektie t. o. v. wit karton

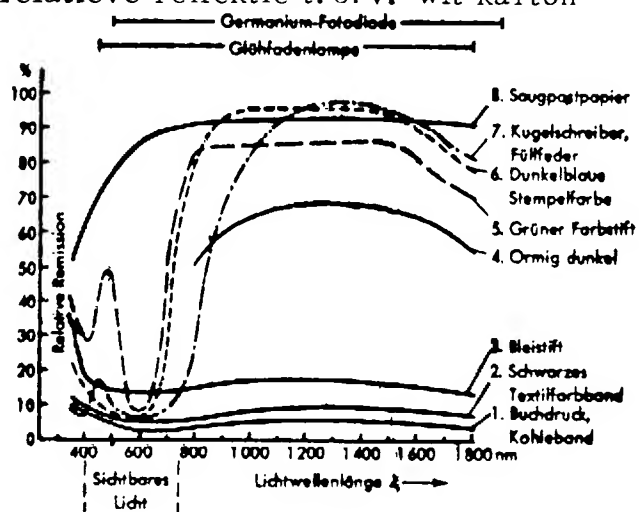


Bild 4. Spektrale Remission verschiedener Farben.

Enige wel veel gebruikte methoden zijn :

1. flying spot scanner (bewegende lichtvlek aftaster)

Op één paar afbuigplaten van een elektronenstraaloscilloscoop wordt een langzame zaagtandspanning gezet, op het andere paar een snelle zaagtandspanning. Hierdoor beweegt er een lichtvlek over het beeld. Dit licht wordt op het document geprojecteerd; het beeldvlak is juist zo groot, dat zich daar één teken kan bevinden. Het teruggekaatste (of doorgelaten) licht wordt via een lenzen stelsel naar een fotovermenigvuldiger geleid. De contrastvariatie op het papier is zo omgezet in een stroomvariatie in de tijd.

2. de "mechanical image dissector" kan men bezien als het mechanisch analogon van de flying spot scanner. Het licht valt op twee achter elkaar aangebrachte draaiende schijven.

De schijven zijn van sleuven voorzien , waar het licht doorheen kan schijnen. De ene schijf doet de lichtvlek vertikaal bewegen, de andere horizontaal.

3. Een T. V. opneembuis. Indien men het videosignaal uitleest, verkrijgt men een signaal dat overeenkomst vertoont met de signalen die bij (1) en (2) ontstaan.

4. Een rij lichtgevoelige elementen. Door de beweging van het papier wordt al zorg gedragen voor een scheiding in horizontale zin. Een rij lichtgevoelige elementen vertikaal op de bewegingsrichting van het papier zorgt voor de vertikale scheiding. Ook hier nemen de lichtgevoelige cellen het gereflecteerde of doorgelaten licht waar.

De techniek van flying spot scanner biedt het grote voordeel terugkoppeling mogelijk te maken. Dit geschiedt door de spanningen op de afbuigplaten afhankelijk te maken van de bevindingen van de beslisser. Dit is vooral belangrijk indien het te lezen teken aan zeer grote variaties onderhevig is, zoals bij het lezen van handschrift (1). De flying spot scanner heeft echter enkele nadelen, die hem ongeschikt maken voor het gebruik in een snelle lezer. Bij gebruik van een fosforlaag met korte nalichttijd is het opgewekte licht van lage golflengte ($\pm 400\text{nm}$). In figuur 5 is te zien dat hierbij het vrijwel onmogelijk is onderscheid te maken tussen het

werkelijke teken en toevallige vervuilingen zoals stempels en ballpoint-strepen. Een fosforsoort die bruikbaar licht opwekt heeft daarentegen een nalichttijd van enkele honderden milliseconden. Dit stelt een grens aan de maximale aftastfrequentie en dus aan de leesnelheid.

Met een vidiconbuis heeft men het bijzonder vervelende effect van contrastvermindering. Dit wordt veroorzaakt door weglekken van lading op de lichtgevoelige laag in de vidiconbuis. Verder mag het papier maar zeer kort belicht worden vanwege de traagheid van de buis.

In het nu volgende wordt aangenomen dat er een rij van lichtgevoelige elementen gebruikt wordt. Als lichtgevoelige elementen worden silicium solarcellen gebruikt. Een solarcel zet lichtenergie om in elektrische energie. Het rendement van de omzetting is ten hoogste 15%.

Dit is inherent verbonden met de werking, die simplistisch als volgt kan worden omschreven: een lichtkwant dringt het halfgeleidermateriaal binnen en maakt hierin elektronen vrij. Deze vrije elektronen bewegen zich voort tot zij recombineren met een vrij gat. Hieruit blijken direkt twee dingen. Ten eerste werkt een solarcel principieel als een stroombron en ten tweede dient een lichtkwant een zeer bepaalde energie te bezitten. De celgevoelighed is dus sterk afhankelijk van de golflengte: de grootste gevoeligheid ligt tussen de 800 en 1200 nm. Uit figuur 4 blijkt dat dit bereik ook gunstig om drukinkt te onderscheiden van storingen zoals stempels en ballpoint-strepen. (12).

3.2 De beslisser

Ook voor de beslisser heeft men vele verschillende oplossingen gevonden. Veelal beschouwt men de uitgang van de waarnemer als een vektor in een n-dimensionale ruimte. De dimensie wordt bij een vidiconbuis bepaald door de aftastfrequentie en bij een rij fotocellen door de aftastfrequentie en het aantal cellen. De beslisser is in staat van elke vektor te bepalen in welke deelverzameling van de meetruimte deze valt. Het aantal deelverzamelinge is één groter dan het aantal verschillende tekens dat herkend moet worden. De extra deelverzameling is die der nietherkende tekens.

Alle deelverzamelingen zijn disjunkt en tesamen spannen zij de gehele ruimte op. Indien de omtrek van de deelverzamelingen niet vastligt, maar

zelfinstelbaar is, spreekt men van een kerende beslisser(11)

Tengevolge van ruis wordt eenzelfde teken op verschillende tijdstippen op verschillende punten in de meetruimte afgebeeld. Hierdoor kan een teken afgebeeld worden op een punt in de meetruimte dat binnen de grenzen van de deelverzameling van een ander teken valt. De beslisser maakt dan een niet te voorkomen fout. Er is een onzekerheid ten aanzien van de afbeelding van een teken en dus ook een onzekerheid ten aanzien van de beslissing. Vanwege deze onzekerheid is het zinvol met waarschijnlijkheden te rekenen. Statistische beslissingsfuncties zijn voor de hand liggend. (5, 7, 8, 9, 10, 11)

Voor een goede toepassing van deze methodieken is meestal een a priori kennis van de terzake doende waarschijnlijkheden noodzakelijk. Zijn niet bekend, dan neemt men ze als bekend aan en corrigeert de aangegeven waarden tijdens een leerproces. Een leermachine als de Perceptron (10, 11) is hier niet op zijn plaats. Een Perceptron kan namelijk alleen dan twee tekens leren onderscheiden, indien de betreffende verzamelingen der punten in de meetruimte disjunkt zijn.

Een veelbelovende methode om de beslisser uit te voeren, is de kenmerkherkenning. Deze methode is een combinatie van herkenning volgens zekerheden en herkenning volgens onzekerheden. Onder een kenmerk wordt dan verstaan een onveranderlijke, noodzakelijke eigenschap van een teken.

Zo is het een kenmerk van een "9" (Type "A") dat er zich uiterst rechts een lange verticale streep bevindt.

De onzekerheid wordt teruggedrongen van de beslissing over een teken naar de beslissing over een kenmerk.

Dit wil niet zeggen dat de uiteindelijke beslissing nu geheel zonder kans of fouten is.

Een kenmerk heeft een tweewaardig karakter:

Een teken heeft een zeker kenmerk al of niet.

Zijn de kenmerken van een teken bepaald, dan wordt het teken met een normale poortschakeling bepaald. Om m tekens te onderscheiden zijn minimaal $2 \log m$ kenmerken nodig.

De tekens hebben dan een Hammingafstand 1. (4)

$2 \log m$

Dit betekent dat de beslisser een substitutiefout zal maken indien één kenmerk foutief bepaald wordt. Volgens (5) is de kans op een foutieve beslissing ongeveer omgekeerd exponentieel evenredig met de minimale Hammingafstand der tekens. Bij het Class A cijfertype blijkt een afstand 2 de grootste minimumafstand te zijn, indien men als kenmerken de posities der horizontale en korte verticale strepen kiest. Frankel (5) is echter niet volledig : behalve de minimale afstand speelt ook de gemiddelde afstand een rol. Dit is als volgt op eenvoudige wijze in te zien. Stel dat men tien tekens wil herkennen, die alle even frequent voorkomen. Men kan dan $\frac{10 \cdot 9}{2} = 45$ verschillende substituties maken.

Neem vervolgens aan dat één paar tekens , de "2" en de "3" een onderlinge afstand 2 bezit en alle andere paren tekens een onderlinge afstand 3. De kans op een substitutie van de "2" voor de "3" of van de "3" voor de "2" zij 10^{-3} . De kans op een willekeurig andere substitutie is dan :

$$(45 - 1) (10^{-3})^{3/2} \approx 1,4 \cdot 10^{-3}$$

(zie bijlage 1)

De kans op een substitutiefout wordt dus voor 3/5 door de 44 paren met onderlinge afstand 3 bepaald !

Wat is het maximale aantal kenmerken, waarmee men de 13 tekens van Class A cijfertype kan beschrijven ?

Als kenmerken worden de posities der horizontale en korte verticale strepen genomen . Een korte verticale streep kan zich op 10 verschillende plaatsen bevinden: hoog of laag in het teken in 5 verschillende kolommen

Een horizontale streep kan zich in 3 posities bevinden:

hoog-midden-laag. (De speciale posities der horizontale middenstrepe in de "6" en de "9" mogen niet als speciale kenmerken worden gezien

Uit tolerantieoverwegingen is namelijk de hoogte der horizontale streep niet exact bepaald. De middenstreep van de "6" kan zo op dezelfde hoogte komen als bij de "8"). Concluderend kan men zeggen dat een teken van het Class A type door ten hoogste 13 kenmerken bepaald wordt. De kenmerken zullen als volgt aangegeven worden:

A1 = korte verticale streep meest rechtse kolom boven

A2 = korte verticale streep meest rechtse kolom onder

E1 = korte verticale streep meest linkse kolom boven

E2 = korte verticale streep meest linkse kolom onder

F1 = horizontale streep boven
 F2 = horizontale streep midden
 F3 = horizontale streep onder

Het cijfer "0" kan nu als volgt omschreven worden:

$$0 = a_1, a_2, \bar{b}_1, \bar{b}_2, \bar{c}_1, \bar{c}_2, \bar{d}_1, \bar{d}_2, e_1, e_2, f_1, \bar{f}_2, f_3$$

In tabel I is de komplette waarheidstabel voor de 13 tekens opgenomen.

Tabel II geeft de onderlinge afstand voor alle 78 mogelijke paren.

Hieruit blijkt dat de minimumafstand 2 is en de gemiddelde afstand 4,66.

De gevonden gemiddelde afstand geeft echter een misleidend beeld.

Er is bij het opstellen hiervan immers aangenomen dat de juiste verticale positie van het teken bekend is. In praktijk zal men in verticale richting naar het teken moeten zoeken.

3.3 VERTICALE PLAATSBEPALING

De verticale positie van het teken kan eventueel met een vooronderzoek (préscanning) gevonden worden. Het zal echter blijken dat een andere methode efficiënter is. Hiertoe wordt aangenomen dat een rij van 10 fotocellen juist het gehele teken in verticale richting kan bedekken. Om enige speling toe te laten in de verticale positie van het teken zijn 25 fotocellen boven elkaar geplaatst. Het mechanisch transportgedeelte van de leesma wordt zó uitgevoerd dat het teken van links naar rechts onder de rij fotocellen doorschuift. Hierdoor wordt eerst kolom a waargenomen, vervolgens kolom b, enz. Het begin van een teken wordt waargenomen doordat ten minste drie naast elkaar gelegen cellen "zwart" waarnemen. Zodra dit wordt waargenomen wordt er gecentreerd op de positie van deze streep. Deze centrering geschiedt elektronisch, doch komt neer op het naar beneden schuiven van het teken tot in de laagste drie boven elkaar gelegen rijen een zwart veld gevonden wordt.

Dit schuiven brengt in de meest rechtse kolom een laagliggende streep: a. De positie van het teken in de meer naar links gelegen kolommen wordt nu gerelativeerd ten opzichte van deze streep. Het is duidelijk dat deze centrering geen verschuiving betekent voor die tekens die volgens tabel I kenmerk a2 reeds vertonen. Dit zijn de tekens 0, 1, 3, 4, 5, 6, 8, 9, n.

De tekens 2, 7, j en ψ worden echter als het ware 4 tot 5 rijen naar beneden geschoven. De korte verticale strepen hebben nu geen tien, maar vijftien mogelijke posities gekregen. De 6 bijgekomen kenmerken zijn a3, b3, c3, d3, e3, en f4. Door deze toename van kenmerken mag men een verbeterde van de gewogen gemiddelde afstand verwachten. De codering van het tek

	a1	a2	b1	b2	c1	c2	d1	d2	e1	e2	f1	f2	f3
0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1
1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	-	0	1
2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
4	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	-	0
5	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1
6	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	-	1
7	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
8	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	-	1	1
9	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	-	0
j	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	-	0	-
y	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
h	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0

TABEL 1

1 = kenmerk is aanwezig

0 = kenmerk is afwezig

- = don't care

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	5	3	3	5	5	2	5	5	2	4	6	4
1		6	4	5	4	4	4	6	5	3	6	6
2			2	5	4	4	4	4	4	3	5	3
3				3	2	4	4	4	2	5	5	3
4					3	5	4	4	3	5	4	2
5						4	6	2	4	7	7	5
6							7	3	4	5	5	3
7								8	3	2	3	5
8									6	7	8	4
9										5	3	3
10											4	4
11												4
12												

TABEL II

en is nu: $a_1, a_2, \bar{a}_3, \bar{b}_1, \bar{b}_2, \bar{b}_3, \bar{c}_1, \bar{c}_2, \bar{c}_3, \bar{d}_1, \bar{d}_2, \bar{d}_3, \bar{e}_1, \bar{e}_2, \bar{e}_3, \bar{f}_1, \bar{f}_2, \bar{f}_3, \bar{f}_4$

De codering van het teken² was: $a_1, \bar{a}_2, \bar{b}_1, \bar{b}_2, \bar{c}_1, \bar{c}_2, \bar{d}_1, \bar{d}_2, \bar{e}_1, \bar{e}_2, \bar{f}_1, \bar{f}_2, \bar{f}_3$

en is nu: $\bar{a}_1, a_2, \bar{a}_3, \bar{b}_1, \bar{b}_2, \bar{b}_3, \bar{c}_1, \bar{c}_2, \bar{c}_3, \bar{d}_1, \bar{d}_2, \bar{d}_3, \bar{e}_1, \bar{e}_2, \bar{e}_3, \bar{f}_1, \bar{f}_2, \bar{f}_3, \bar{f}_4$

De onderlinge (niet gewogen) afstand tussen de "0" en de "2" was 3 en is nu 7. In tabellen 3 en 4 zijn resp. de coderingen en de onderlinge afstanden gegeven.

Deze redenering is niet geheel correct. De vergroting van sommige afstanden tussen de tekens wordt veroorzaakt door de verschuiving. De mate van verschuiving wordt bepaald door de plaats van de laagste verticale korte streep in de meest rechtse kolom. Een storing in het teken in deze kolom kan daardoor meerdere kenmerken tegelijk veranderen. Indien hiermee geen rekening wordt gehouden mag het resultaat slechts kwalitatief gebruikt worden.

Een zinvolle definitie van afstand is er één die aangeeft hoeveel fouten gemaakt kunnen worden vóórdat een teken als een ander teken wordt waargenomen. Van de verticale strepen in de meest rechtse kolom is echter geen konstante norm te vinden. Het wegvallen van een verticale streep in de eerste kolom is soms minder erg dan dat er ten onrechte in de eerste kolom een extra streep gevonden wordt.

Bekijkt men tabel 2 dan zijn er 8 paren met onderlinge afstand 2.

Hiervan zijn er 3, die een schijnbare afstandsvergroting kunnen krijgen door een relatieve verschuiving. Voor de paren 0-6 en 3-5 is het gunstiger naar boven te schuiven en voor het paar 2-3 is het gunstiger naar beneden te schuiven.

Behalve de tekens naar beneden te schuiven kan men ze ook naar boven schuiven. Dit schuiven brengt dan in de meest rechtse kolom (a) een hoogliggende str

	a			b			c			d			e			f			
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	4
0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0
1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	-	0	1	0
2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1
3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0
4	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
5	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0
6	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	-	1	0
7	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
8	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	-	1	1	0
9	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	-	0	0
J	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	-	0	-
Y	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
H	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0

TABEL III

(naar beneden geschoven)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Σ	Υ	π
0	5	7	3	6	5	2	7	5	2	8	4	4
1		5	4	6	4	4	5	6	5	4	4	6
2			4	5	4	4	4	5	6	3	5	5
3				3	2	4	4	4	2	6	5	3
4					3	5	3	4	3	5	6	2
5						4	4	2	4	6	5	5
6							4	3	4	6	2	3
7								5	4	2	3	3
8									6	7	4	4
9										6	6	3
Σ											4	5
Υ												4

TABEL IV

(naar beneden geschoven)

De positie van de andere strepen in het teken wordt weer gerelativeerd ten opzichte van deze eerste streep. Voor de tekens die volgens tabel I kenmerk al reeds vertonen, betekent dit geen verandering. Dit zijn de tekens 0, 2, 3, 4, 7, 9, Γ , Ψ , en \mathcal{H} . De tekens 1, 5, 6 en 8 worden echter omhoog geschoven. Dit brengt weer een winst van 6 kenmerken : a_0 , b_0 , c_0 , d_0 , e_0 en f_0 .

In feite is er maar een winst van 5 kenmerken, omdat a_0 nooit kan optreden. Verder heeft kenmerk a_1 zijn informatieve waarde verloren, omdat elk teken nu dit kenmerk vertoont.

Evenzo zal bij het naar beneden schuiven kenmerk a_3 nooit en kenmerk a_2 altijd optreden.

De resultaten van het naar boven schuiven zijn weergegeven in tabellen V en VI. In tabel V is a_0 genoteerd als a_1 , a_1 als a_2 en a_2 als a_3 , enz.

In bijlage I is een kwalitatieve methode ontwikkeld om te bepalen welke methode van schuiven de voorkeur verdient. Zijn de diverse konditionele waarschijnlijkheden van optreden bekend, dan kan de toets als kwantitatief gebruikt worden.

Uit de tabellen III en V blijkt dat ~~met~~^{niet} alle kenmerken bijdragen tot het scheidend vermogen van het systeem. Het is niet zinvol kenmerken die alle tekens gemeenschappelijk bezitten of niet bezitten te betrekken bij de herkenning. Kenmerken waarmee men in staat is ten minste één teken van de andere te onderscheiden, worden zinvol genoemd. Volgens Tabel III (naar beneden geschoven) zijn er 13 zinvolle kenmerken. Wordt het teken naar boven geschoven, dan zijn er volgens Tabel V, 14 zinvolle kenmerken.

3.4 SCHEEFSTAANDE TEKENS

De tekens op een dokument staan niet zuiver loodrecht op de referentiële beneden rand van het dokument. Dit scheefstaan ontstaat door scheef inzetten en -afsnijden van het papier en door scheefstaande tekenarmen in een schrijfmachine of speling tussen de tekenschijven en de as in een regeldrukker. De International Standards Organisation heeft de maximale richtingsafwijking (skew) op 3° gesteld. Aan deze eis is met normale drukinrichtingen goed te voldoen.

Een scheefstaande streep kan door de waarnemer als een bredere streep worden gezien:

	a			b			c			d			e			f			
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	4
0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1
1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	-	0	1	0
2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1
3	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
4	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
5	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0
6	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	-	0
7	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
8	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	-	1	1	0
9	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	-	0
5	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	-	0	-
4	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
4	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0

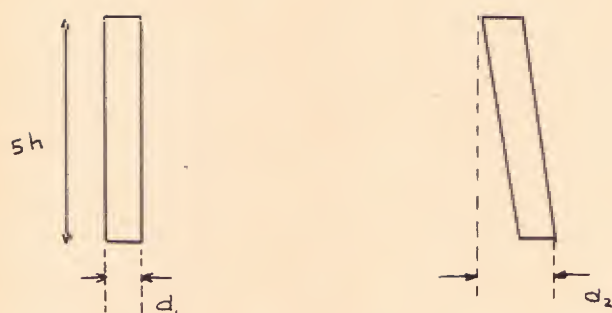
TABEL V

(naar boven geschoven)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Σ	Υ	Π
0	7	3	3	6	7	4	5	6	2	4	6	4
1		5	5	4	4	5	5	6	5	4	4	4
2			2	5	4	4	4	5	4	3	5	3
3				3	4	4	4	5	2	5	5	3
4					5	5	5	6	3	6	4	2
5						4	4	2	4	6	5	5
6							3	3	2	5	3	5
7								5	3	2	3	5
8									3	7	4	6
9										5	3	3
Σ											4	4
Υ												4

TABEL VI

(naar boven geschoven)

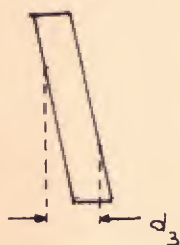


$$d_2 = d_1 + sh \sin \alpha$$

$$\left. \begin{array}{l} d_1 = 0,35 \text{ mm} \\ h = 0,30 \text{ mm} \\ \alpha = 3^\circ \end{array} \right\} d_2 = 0,43 \text{ mm}$$

De breedte d_2 wordt meestal niet waargenomen. Het begin van een streep wordt gesignaleerd door b.v. het waarnemen van x zwarte velden.

Dan wordt een breedte d_3 waargenomen:



$$d_3 = d_1 - x \cdot h \sin \alpha + (5-x) h \sin \alpha$$

$$= d_1 + (5-2x) h \sin \alpha$$

$$|d_1 - d_3| \text{ is minimaal als } x = 2 \text{ of } 3$$

Voor $x = 3$ is $d_3 = 0,33 \text{ mm}$.

De verandering in de streepbreedte t.g.v. scheefstaan is veel minder dan variatie die toegestaan is. Dit levert dus geen moeilijkheden. Door het scheefstaan van een teken wordt ook de hartlijn van een streep verplaatst. Voor strepen op gelijke hoogte is deze verplaatsing vrijwel hetzelfde, zodat de afstand der hartlijnen ongewijzigd blijft. Voor strepen op ongelijke hoogte is de verandering in de hartlijnafstand ten hoogste $0,035 \text{ mm}$ en dus verwaarloosbaar gezien de toegelaten variatie in deze maat van $0,075$. Een teken dat slechts 3° scheef staat levert om deze redenen geen principieel moeilijkheden op voor het leessysteem.

In (6) wordt een herkenningsmethodiek afgeleid die geen beperkingen oplegt aan de eventuele afwijkingen in de verticale stand der tekens.

3.5 VERTICALE AFSTAND TUSSEN DE TEKENS

Behalve de regel die het leessysteem moet waarnemen, kunnen nog andere regels OCR A tekens op het dokument aangebracht zijn. De Amerikaanse specificaties spreken van 6 regels per inch. Rekening houdend met de maximale streepdikte komt dit neer op een gemiddelde verticale afstand van $2,2 \text{ mm}$ tussen de tekens.

Zijn de tekens echter versprongen dan kan de tussenruimte afnemen tot $0,6 \text{ mm}$. De leeskop mag nooit twee complete tekens op verschillende re-

De maximale hoogte die de leeskop mag bestrijken vindt men uit
 $0,6 + 2 \cdot 2,39 + 0,21$ (minimale streepdikte)

Als men aanneemt dat een solarcel 0,30 mm bestrijkt en de cellen zonder
 ruimte naast elkaar liggen is het maximaal toegelaten cellen in de lees-
 kop $\frac{0,6 + 2 \cdot 2,39 + 0,21}{0,30} = 18$.

4. ORGANISATIE VAN DE BESLISSER

- 4.0 Er wordt aangenomen dat de uitgangssignalen van de solarcellen voldoende versterkt zijn om een aantal trekkers te kunnen setten resp. resetten. De stand van een trekker zij "hoog" of "1", indien de bijbehorende solar "zwart" bevond en "laag" of "0" in de tegenovergestelde situatie. De beslisser zal uit de volgende onderdelen moeten bestaan:

1. klokpuls generator van 1Mc
2. schuifregister van 25 sekties
3. start-schakeling, die aanwezigheid van 3 enen in het schuifregister detekteert.
4. kolomteller
5. 2 synchronisatietellers
6. aantal poorten om verticale strepen te detekteren
7. aantal tellers om horizontale strepen te detekteren
8. schakeling om aan de hand van de gevonden kenmerken het waargenomen teken te bepalen.

- 4.1 De klokpulsgenerator spreekt voor zich; de frequentie is noodzakelijk voor de gewenste leessnelheid.

- 4.2 Dit schuifregister dient uit tenminste 5 sekties méér te bestaan dan er solarcellen zijn om het verliezen van informatie ten gevolge van het schuiven te voorkomen.

In het schuifregister worden onder besturing van de startschakeling of de kolomteller de gediskretiseerde uitgangssignalen van de solarcellen opgenomen. Dit schuifregister maakt vervolgens een aantal stappen. Dit komt overeen met het verschuiven van het teken naar boven of beneden.

Het aantal schuifstappen wordt door de beide synchronisatietellers (zie 5) bepaald.

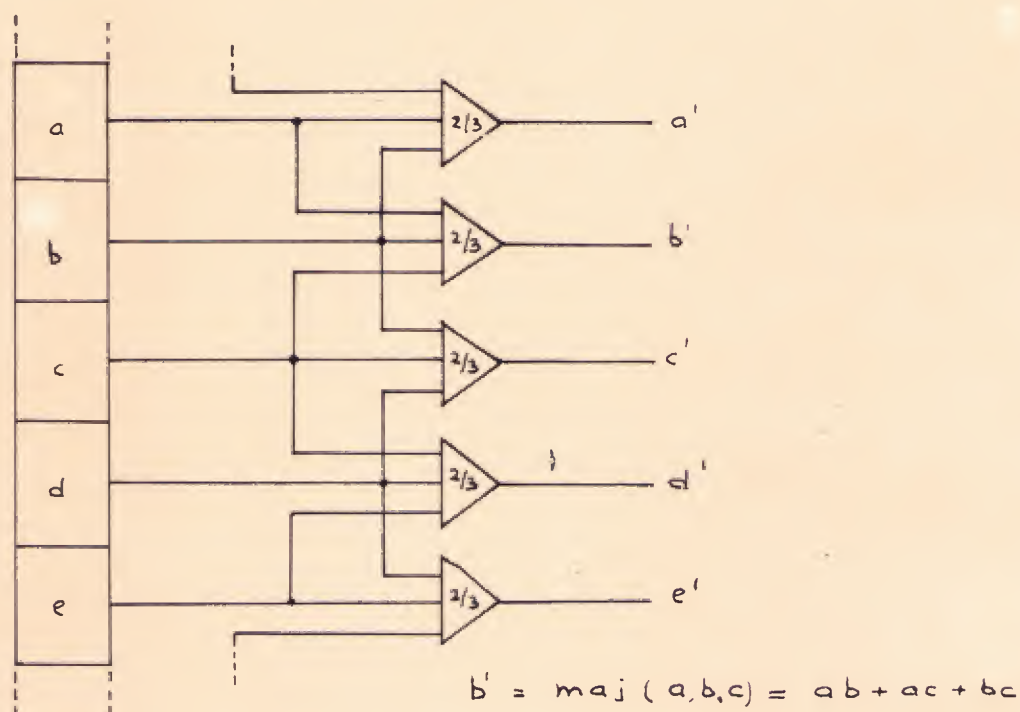
- 4.3 De startschakeling dient om de beslisser te doen beginnen.

Aangenomen wordt dat de uitgangen der 25 versterkers via poorten op de setingangen van het register staan. Zodra de a-kolom van het teken onder de rij fotocellen komt, worden er tenminste drie sekties van het schuifregister geset. Door het plaatselijk ontbreken van inkt in het teken behoeven deze drie sekties niet naast elkaar te liggen. Wil men dit rechtstreeks met binaire schakelingen detekteren, dan is hier zeer veel materiaal nodig: de gevraagde schakeling moet zonder noemenswaardige vertragingen werken. Men kan echter op vrij eenvoudige wijze inktvlekken en lozeplekken

(plekken waar inkt plaatselijk ontbreekt) door een voorbewerking verwijderen.

Hierbij wordt dan gebruik gemaakt van een meerderheidsbeslisser met 3 ingangen. Hiermee kan men de uitgang van een solarcel vergelijken met de uitgangen van zijn buurcellen eventueel wijzigen. Er bestaan eenvoudige standaardschakelingen hiervoor.

De schakeling is hieronder geschetst:



De werking van de voorgestelde korektieschakeling kan als volgt verklaard worden: een nominale korte streep met een lengte van 4 x de nominale streepdikte (bv. bij de 9) levert na verschuiving de volgende inhoud van het schuifregister:

(1) 0 0 1 1 1 1 0 0 - -

(van links naar rechts = van boven naar beneden)

Door het plaatselijk ontbreken van inkt of door inkt-spatjes zijn de volgende patronen ook mogelijk:

(2) 0 0 0 1 1 1 0 0

(3) 0 0 1 0 1 1 0 0

4 0 0 1 1 0 1 0 0

5.	0	0	1	1	1	0	0	0
6.	1	0	1	1	1	1	0	0
7.	0	1	1	1	1	1	0	0
8.	0	0	1	1	1	1	1	0
9.	0	0	1	1	1	1	0	1

Het optreden van twee of meer storingen tegelijkertijd wordt niet beschouwd.

Na korrektie zien de signalen er als volgt uit:

(1)	0	0	1	1	1	1	0	0	ongewijzigd
2	0	0	0	1	1	1	0	0	ongewijzigd
3	0	0	0	1	1	1	0	0	
4	0	0	1	1	1	0	0	0	
5	0	0	1	1	1	0	0	0	
6	0	1	1	1	1	1	0	0	
7	0	1	1	1	1	1	0	0	
8	0	0	1	1	1	1	1	0	
9	0	0	1	1	1	1	1	0	

Nummert men de desekties van links naar rechts 1, 2, ... 8, dan is de eis voor het herkennen van de korte streep:

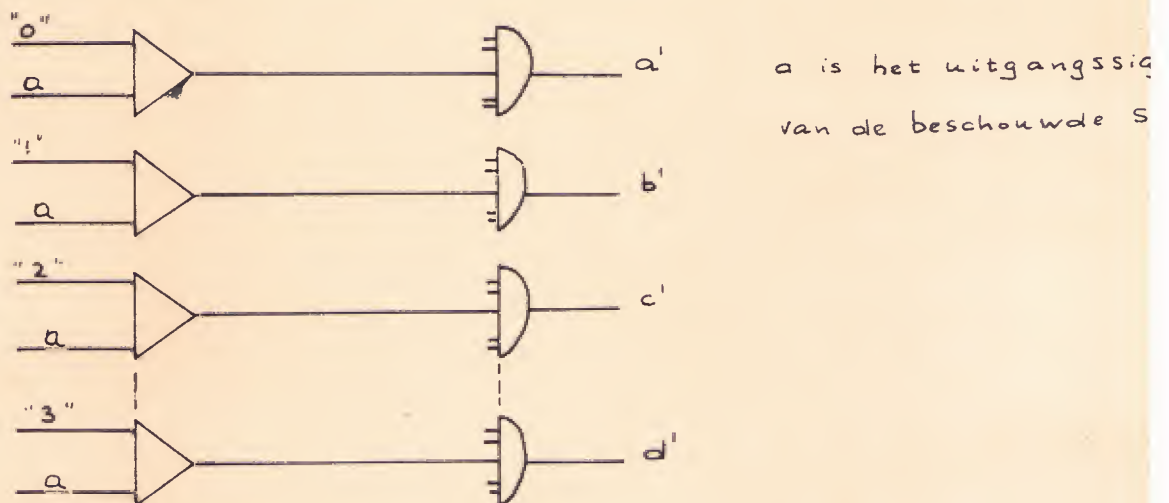
4.5 (3+6)

4.4 KOLOMTELLER

De kolomteller bepaalt welke der kolommen a t/m e momenteel door de rij fotocellen waargenomen wordt. Deze teller ontvangt zijn eerste puls van de startschakeling of van het voor de eerste maal waarnemen van een korte streep. Vervolgens zou men de kolomteller elke 140 usec (nominale passeertijd van een kolom) een stap vooruit kunnen laten maken en de gediskretiseerde uitgangssignalen der solarcellen opnemen in het schuifregister. Vanwege de mogelijke variaties in de streepdikte zal dit niet voldoen. In bijlage II is een mogelijke schakeling beschreven om de leesop te wekken.

4.5 TWEE SYNCHRONISATIE TELLERS

Er is reeds vermeld dat verschuiven van het teken tot een korte verticale streep of een vaste plaats gevonden wordt een goede methode is om de positie van het teken vast te leggen. Van elk der kolommen b t/m e die vervolgens de relatieve stand ten opzichte van kolom a vastgelegd te worden. Dit kan op twee manieren gebeuren. Ten eerste kan men het aantal scherp-pulsen tellen die noodzakelijk zijn om kolom a in de juiste stand te brengen. Dit aantal wordt vastgelegd. Vervolgens wordt elke kolom evenveel verschoven. Ten tweede kan men eenschakeling toepassen als hieronder geschetst voor de 1e sectie van het register:



De signalen tussen de aanhalingstekens geven de detektie signalen van tellerstanden aan. Zodra in de gewenste stand een korte verticale streep wordt gevonden, wordt de teller geblokkeerd. Deze blokkering blijft, totdat alle kolommen waargenomen zijn. Hierdoor is de juiste positie der kolommen b t/m e direkt bekend. Tegenover deze tijdwinst staat de grote hoeveelheid benodigd materiaal: 25 x 21 en-poorten met 2 ingangen en 2 of-poorten met 25 ingangen.

Als men een vergelijking wil treffen met de telefoontechniek, dan komt de eerste methode overeen met een kiezer met ruststand en de tweede met een kiezer zonder ruststand.

Gezien de benodigde hoeveelheid materiaal verdient de eerste methode voorkeur. De extra tijd die dit kost, (maximaal 21 usec per kolom) is z

Er is reeds gezegd dat het aantal schuifpulsen nodig voor de eerste verschuiving, geregistreerd moet worden. Dit kan door de stand van de teller na het tot stilstand komen te registreren in 5 trekkers.

Een trekker is niet veel goedkoper dan een tweedeler.

Men kan daarom eenvoudiger twee tellers nemen. Bij de teller het aantal schuifpulsen tijdens de verschuiving van de eerste kolom.

Een der tellers wordt geblokkeerd op een korte streep in de eerste kolom wordt gedetekteerd in bijv. de sekties 5 t/m 9.

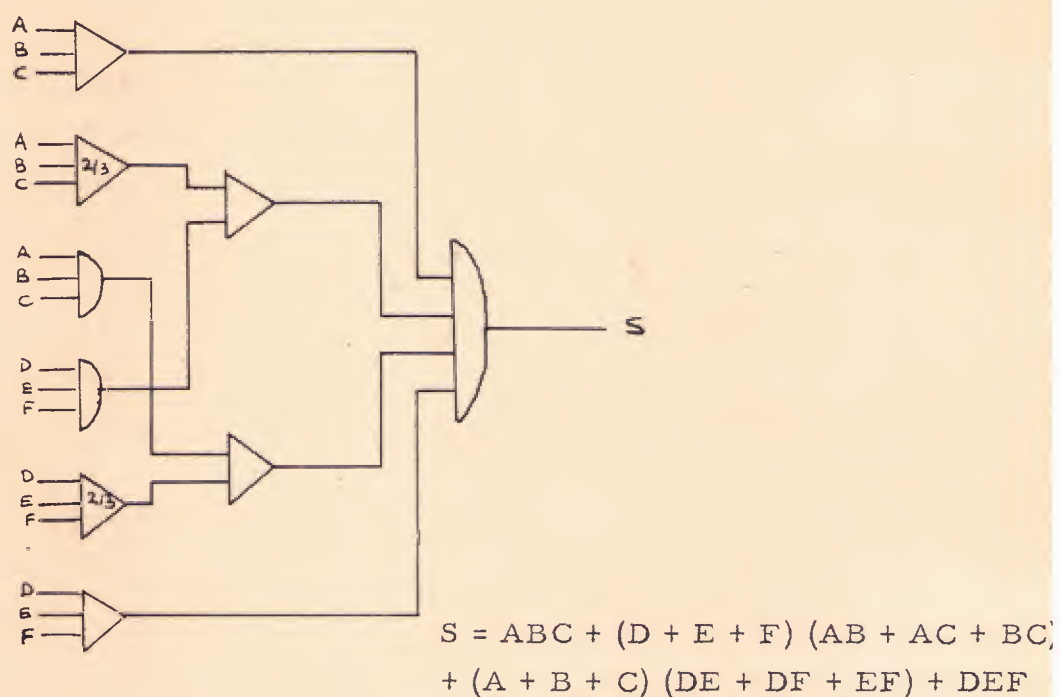
Een vergelijkingsschakeling in de vorm van een vijftal mod-2 optellers tesamen beschouwd in een of-poort (voor elk bit dat de tellerstand aan- geeft een mod-2 opteller) reageert op het gelijk worden van de stand van de lopende teller en de geblokkeerde teller. Een hiervan afgeleide puls stopt de schuifwerking. Nadat de vijfde kolom is waargenomen en de daar voorkomende kenmerken zijn geregistreerd, resp. verwerkt, wordt de geblokkeerde teller gereset.

4.6 VERTICALE STREEPDETEKTIE

In par. 3.2 is gesproken over enkele methode van herkenning. Een directe uitspraak over de optimale herkenningmethode is niet te geven. Voor een commercieel apparaat is het voor de uiteindelijke kostprijs van groot invloed als er zo weinig mogelijk gebruik hoeft worden gemaakt van speciaal ontwikkelde schakelingen. Men kan veel goedkoper gebruik maken van standaard schakelingen al bevatten deze niet het minimum aantal onderdelen. Daar de uitgangssignalen van de solarcellen na versterking toch al gediskretiseerd worden voor de verticale plaatsbepaling is het voordelig de streepherkenning ook op binaire wijze plaats te doen vinden. Uit de figuren 1 en 2 blijkt dat de nominale strepen vier à vijf maal de nominale streepdikte lang zijn. Rekening houdend met mogelijk extra inktspatten en plaatselijk ontbreken van inkt, kan deze lengte variëren tussen de driemaal en zesmaal de nominale streepdikte.

In par. 4.3 is gevonden dat de eis voor detektie van een korte verticale streep luidde: 4.5 (3+6).

Houdt men tevens rekening met een extra variatie van ± 1 streepdikte tengevolge van lengtevariatie van de streep in de eerste kolom (waar immers op gesynchroniseerd wordt) dan komt men tot een eis van drie uit zes, waarbij tenminste 2 "enen" naast elkaar voorkomen. Met behulp van de reeds genoemde twee uit drie schakelingen en een aantal gewone poorten kan men een drie uit zes schakeling maken met de genoemde beperking. Deze schakeling is hieronder aangegeven. De zes sekties zijn aangegeven met A, B, C, D, E, F. Bij deze schets is geen rekening gehouden met de inverterende werking van de transistoren in de poortschakelingen.



Daar de verticale strepen zich op drie verschillende hoogten kunnen bevinden dient men de bovenstaande schakeling driemaal uit te voeren. Eventueel kan men van deze schakelingen gebruik maken voor de startschakeling (zie par. 4.3).

4.7 HORIZONTALE STREEPDETEKTIE

Ook de horizontale strepen zullen met binaire schakelingen bepaald worden. In tegenstelling tot de verticale strepen zijn bij de horizontale strepen de noodzakelijke zwarte velden niet op hetzelfde moment bekend.

Dit maakt een geheugenschakeling nodig. De eenvoudigste methode is het aantal enen te tellen dat achtereenvolgens te vinden is in een sectie van het schuifregister. Overschrijdt dit aantal een van tevoren bepaald totaal (bijv. 3) dan wordt de aanwezigheid van een horizontale streep vastgesteld. Deze tellers kunnen zelfblokkerend worden uitgevoerd. Tengevolge van de mogelijke variatie van \pm één streepdikte dienen er voor elke mogelijke positie van een horizontale streep drie tellers aangebracht te worden. Daar de horizontale strepen vier mogelijke nominale posities heeft zijn er twaalf tellers nodig. Slechts als men drukwerk zonder noemenswaardige inktspatten kan verwachten of als deze spaarzaam met een voorbewerking geelimineerd zijn (zie par. 4.3) kan men volstaan met één teller per nominale positie. Deze teller wordt dan bestuurd door een ofschakeling waarop de uitgangen van de drie sekties staan waar de streep langschuift.

4.8 TEKENBESLISSER

Zijn de kenmerken alle waargenomen dan dient beslist te worden welk teken gelezen is. Ook hier zijn twee verschillende mogelijkheden.

Uitgaande van de diverse waarheidstabellen komt men tot een schakeling, bestaande uit 13 en-poorten met ieder evenveel ingangen als er zinvolle kenmerken zijn, plus een of-poort waarmee het laag zijn van alle 13 en-poorten is waar te nemen. In dat geval is er geen enkel teken herkend. Hierbij is het uitgesloten dat meer dan een en-poort hoog is. Wil men herkennen volgens de methode dan dienen alle kenmerken simultaan bekend te zijn: Er is een geheugen nodig en wel voor de kenmerken die tijdens het waarnemen van de kolommen a t/m d bepaald worden. Dit zijn $4 \times 3 = 12$ kenmerken. Het geheugen dient 12 trekkers te bevatten met de nodige set-poorten.

Gaat men van een ander idee uit voor de tekenherkenning dan is dit geheugen het geheel niet nodig. Vindt men immers in de kolommen a t/m d een bepaald kenmerk dan kan men direkt zeggen welke tekens eventueel mogelijk zijn en welke zeker niet. Men kan deze kennis als volgt benutten: zodra in de eerste kolom het kenmerk a1 of a2 (afhankelijk van de schuifrichting) gevonden worden worden 13 tekentrekkers geset. Vervolgens wordt bij het al of niet optreden van de afzonderlijke kenmerken die trekkers gereset, waarvan het bijbehorende teken zeker niet meer mogelijk is. Per kenmerk zijn er twee poorten nodig, voor 19 kenmerken kost dit dan 38 of-poorten. Elke trekker krijgt een reset of-poort.

met 19 ingangen . Deze aantallen zijn niet geheel juist, daar slechts zinvolle kenmerken beschouwd hoeven te worden. Een zinvol kenmerk is een kenmerk dat kenmerkend is voor een teken en dat niet ontbreekt noch aanwezig is bij alle tekens. Zo is kenmerk a2 (bij naar beneden schuiven) niet zinvol, daar alle tekens dit kenmerk bezitten. Evenzo is kenmerk b2 niet zinvol daar geen enkel teken dit kenmerk bezit, Uit tabel III (resp. V) blijkt dat het aantal zinvolle kenmerken 13 (resp. 14) is. Volgens beide methoden is de uitgang van de herkenner gedurende de tijd nadat de vijfde kolom is waargenomen en onderzocht totdat van een volgend teken de eerste kolom is waargenomen en onderzocht beschikbaar voor het uitlezen van het resultaat. Is deze tijd te kort dan dienen bv. een extra 13 trekkers als buffergeheugen aangebracht te worden.

5.1 REDUNDANTIE REDUKTIE

In bijlage 1 is een methode afgeleid om de betrouwbaarheid van het leesysteem te onderzoeken. Hierbij is uitgegaan van de veronderstelling dat alle zinvolle kenmerken benut worden. Nu zijn niet al deze kenmerken even belangrijk dwz. het elimineren van kenmerk i zal niet dezelfde toename van de verwachte substitutie fout opleveren als het elimineren van kenmerk j (i ongelijk j). Het ligt dus voor de hand aan elk kenmerk een waardering toe te kennen die evenredig is met de verwachte toename van de substitutiekans indien het betreffende kenmerk geelimineerd wordt. Hiertoe bepaald men de onderlinge afstanden $d_{x_k}(i, j)$ der tekens na eliminatie van kenmerk x_k .

Dan geldt volgens bijlage I :

$$\Delta p(x_k) = \frac{1}{78} \sum_{i=1}^{13} \sum_{j=i+1}^{13} p^{d_{x_k}(i,j)} - \frac{1}{78} \sum_{i=1}^{13} \sum_{j=i+1}^{13} p^{d_x(i,j)}$$

Hierin is:

$\Delta p(x_k)$ de toename van de substitutiefout als kenmerk x_k geelimineerd wordt.

p de kans op het verkeerd waarnemen van één kenmerk

$d_x(i, j)$ de onderlinge Hammingafstand tussen de tekens i en j

$d_{x_k}(i, j)$ de onderlinge Hammingafstand tussen de tekens i en j als kenmerk x_k geelimineerd wordt.

Bij een zinvolle redundatie reductie elimineert men dat kenmerk x_1 waarvoor $\Delta p(x_k)$ minimaal is. De keuze van x_1 zal in het algemeen afhankelijk zijn van p . Het zou verkeerd zijn te menen dat het kenmerk x_m dat na x_1 de kleinste $\Delta p(x_k)$ opleverde vervolgens als eerste in aanmerking komt voor eliminatie. De gevonden $\Delta p(x_k)$ ($k \neq 1$) zijn immers berekend in de veronderstelling dat kenmerk x_1 ook beschouwd werd. Daar is na eliminatie van x_1 niet meer aan voldaan. Men dient de gehele procedure weer te herhalen dwz. uitgaande van 12 kenmerken wordt steeds één van deze kenmerken niet beschouwd. Dit levert 12 verschillende $\Delta p(x_k)$. De kleinste $\Delta p(x_k)$ geeft weer aan welk kenmerk geelimineerd kan worden.

Men kan zo doorgaan met kenmerkend te elimineren totdat de berekende of experimenteel bepaalde substitutiekans een maximaal toegelaten waarde bereikt.

Het is echter zeer de vraag of men er verstandig aan doet over te gaan tot redundantie reductie. Zoals gebleken is bij de behandeling van de organisatie van de beslisser krijgt men sommige kenmerken praktisch cadeau. Er is dan slechts één en-poort met twee ingangen per kenmerk nodig. De eventuele besparing die te bereiken zijn met de redundantie reductie wegen dan niet op tegen de verwachte verhoging van de substitutie kans en de kosten verbonden aan de berekeningen van deze reductie. De zojuist beschreven methode om redundantie reductie te verkrijgen is te omslachtig. Men weet immers a priori dat het voor een betrouwbaar leessysteem noodzakelijk is dat de kans op het verkeerd interpreteren van een kenmerk kleiner is dan 10^{-2} . Dan mogen formules (7) en (8) uit bijlage I gebruikt worden. Hieraan ziet men dat de substitutiekans niet beïnvloed zal worden door een reductie waarbij de minimale afstand gelijkt blijft én de relatieve frequentie van d_{\min} in de gewijzigde afstandstabel niet verandert. Anders gezegd: vermindering van een afstand 4 tot 3 heeft geen invloed maar de vermindering van een afstand 3 tot 2 vergroot de substitutiekans met $\frac{n+1}{n}$, als n het aantal keren is dat d_{\min} in de beschouwde tabel voorkomt (zie formule 6).

De werkwijze is dan alsdus: noteer de parentekens die een afstand 2 of 3 hebben. De kenmerken die hierbij een rol spelen worden essentiële genoemd. Elk ander paar moet verschillen in minstens drie essentiële kenmerken. Is dit niet het geval dan dienen er essentiële kenmerken toegevoegd te worden tot aan bovengenoemde eis voldaan is. Past men deze methode toe op tabel V en VI dan blijken slechts de kenmerken c1 en f1 niet essentiële te zijn. Deze kunnen dus geelimineerd worden zonder dat de verwachte substitutiekans noemenswaardig vergroot wordt.

De essentiële kenmerken zijn in dit geval a3, b1, c2, c3, d1, d2, e1, e3, f2, f3, en f4.

VERMINDERING VAN HET AFWIJZINGSPERCENTAGE

Zoals in bijlage I is afgeleid kan men de substitutiekans van twee tekens verkleinen door hun onderlinge afstand te vergroten.

Dit kan geschieden door meer kenmerken te gaan beschouwen.

De toegevoegde kenmerken zijn verschillend voor beide tekens. Hierbij vergroot men echter de afwijzingskans. Als een teken gedefinieerd wordt door x kenmerken waarvan de kans op verkeerde interpretatie p is, is de afwijzingskans p_a gegeven door:

$$p_a = p^x - \binom{x}{2} p^2 x + \binom{x}{3} p^3 x + \dots$$

Daar p_a kleiner moet zijn dan $7 \cdot 10^{-4}$ en x ongeveer 10 is, kan dit benaderd worden door:

$$p_a \approx p^x$$

Stel $p_a \leq 7 \cdot 10^{-4}$ en $x = 10$ dan is: $p \leq 7 \cdot 10^{-5}$

De afwijzingskans kan men kleiner maken door minder kenmerken in beschouwing te nemen.

Hiertegenover staat dat om de substitutiekans zo laag mogelijk te houden de onderlinge afstanden tenminste twee en zo mogelijk drie moeten zijn. Uit de essentiële kenmerken kiest men voor elk teken een aantal noodzakelijke. Om de noodzakelijke kenmerken voor het teken 0 te vinden zoekt men in Tabel VI eerst de tekens met afstand 2 of 3 tot de "0". Dit zijn de "2", "3" en "9". De kenmerken waarin de "0" verschilt van de "2", "3" en "9" zijn in ieder geval noodzakelijk. Dit zijn de kenmerken a_3 , e_2 , e_3 , f_3 en f_4 . Nu gaan we na of de afstanden tot de overige tekens voldoende zijn. Is dit niet het geval dan noteren we hoeveel kenmerken nodig zijn en uit welke essentiële kenmerken deze gekozen mogen worden. De genoemde kenmerken a_3 , e_2 , e_3 , f_3 en f_4 blijken voldoende te zijn om het teken "0" te onderscheiden van de andere tekens, behalve van de "hook":

Om dit te verhelpen zal één van de kenmerken c_2 en c_3 als noodzakelijk voor de "0" moeten worden aangemerkt.

Vervolgens wordt de procedé herhaald voor alle volgende 12 tekens.

Hierbij moet er wel opgelet worden dat bij het bepalen van de noodzakelijke kenmerken voor teken i men voor de Hammingafstand van teken i tot teken j

($j < i$) alleen rekening houdt met de noodzakelijke kenmerken van j . Alle andere kenmerken zijn voor het teken j immers "don't care" voorwaarden geworden.

Daar deze wijze om de noodzakelijke kenmerken van elk teken te bepa- resultaten zal opleveren die afhankelijk zijn van de volgorde van de beschouwde tekens bij dit iteratie proces zal het resultaat in het algemeen niet optimaal zijn. Gezien de gedaante van dit vraagstuk is het optimale resultaat waarschijnlijk te vinden met behulp van lineaire programme-

6. CONCLUSIE

Een optische leesapparaat voor gestyleerde tekens van het "Class A" type kan op een vrij eenvoudige wijze worden gerealiseerd. Niet-ideaal gedrukte tekens kunnen betrouwbaar genoeg worden gelezen om toepassingen in het bank-en girowezen mogelijk te maken.

Gaarne wil ik hier mijn dank betuigen aan de Internationale Bedrijfs-machine Maatschappij N. V. voor de leerzame stage die ik op haar Ontwikkelingslaboratorium te Uithoorn heb mogen maken.

Veel ben ik verschuldigd aan haar medewerkers de heren A. de Boer, H. van Steenis en S. van Straten, en aan mevrouw A. M. Schoonwater voor de typografische verzorging van dit verslag.

7. LITERATUUR

1. The recognition of handwritten numerals by contour analysis.
E. C. Grenias et al . IBM Journal January 1963.
2. Ein Optischer Zeichenleser für schnelle automatische Belegverarbeitung.
W. Dietrich (Standard Elektrik Lorenz A. G.)
Elektronische Rechenanlagen 6 (1964) H 2, S 63-69
3. Computer-Automated Design of Multifont Print Recognition Logic
L. A. Kamentsky- CN. Liu
IBM Journal January 1963.
4. Error Detecting and Error Correcting Codes
R. W. Hamming
Bell System Technical Journal 1950 , Nr. 2 , pp 147-160.
5. Information - theoretic aspects of Character reading
S. Frankel
Information Processing-Unesco Conference , June 1959.
6. Pattern Recognition using Autocorrelation
L. P. Horwitz-G. L. Shelton, Jr.
Proceedings of the I. R. E. , January 1961, pp. 175-185.
7. An Optimum Character Recognition System Using Decision Functions
C. K. Chow
I. R. E. transactions EC , december 1957, pp 247-254.
8. Decision - making Process in Pattern Recognition
G. S. Sebesteyn
A. C. M. Monograph Series
Macmillan (London) 1962
9. Linear Decision Functions with Application to Pattern Recognition
W. H. Highleyman
Proceedings of the I. R. E. 50 no. 6 1501-1514, June 1962.
10. A Pattern Identification System Using Linear Decision Functions
J. S. Griffin et al
IBM Systems Journal , September - December 1963, pp 248-267.
11. Some Mathematical Models of Learning
S. Papert
Information Theory
Fourth London Symposium 1961.
12. Menselijk en Machinaal Denken
K. Steinbuch
Aula pocket Het Spectrum 1964
(nedl. vert. van Mensch und Automat)

13. Peak Detecting Circuit
M. G. Wilson
IBM Technical Disclosure Bulletin
Discl. 69.023
Vol. 6 , No. 10 , March 1964
14. Probability and Information Theory with Applications to ^{RADAR.} ~~Reader~~
P.M. Woodward
Pergamon Press 1953.

BIJLAGE I

Afleiding van kwalitatieve vergelijkingsformules.

Aangenomen wordt dat de kans p op verkeerde waarneming voor alle kenmerken even groot is, dat alle tekens even frequent voorkomen en dat alle substitutiefouten dezelfde kosten met zich mee brengen. Tekens A en B hebben een Hammingafstand $d(AB)$ dwz. zij verschillen in $d(AB)$ kenmerken. De kans op een substitutie van A voor B of van B voor A onder de voorwaarde dat teken B resp. A waargenomen dient te worden is :

$$p(AB) = p^{d(AB)} \quad (1)$$

De kans p_{subst} op een willekeurige substitutie onder overeenkomstige voorwaarden is :

$$p_{\text{subst.}} = \frac{1}{78} \sum_{i=1}^{13} \sum_{j=i+1}^{13} p^{d(i,j)} \quad (2)$$

De konstante $\frac{1}{78}$ is noodzakelijk om de conditionele substitutiekans p_{subst} de waarde 1 te laten bereiken voor de waarde 1 van p . Er kan een gewogen gemiddelde afstand worden gedefinieerd als zijnde $d_{\text{gem}} = d(i,j)$ voor alle i en j die, gesubstitueerd in (2) dezelfde substitutiekans oplevert.

$$\frac{1}{78} \sum_{i=1}^{13} \sum_{j=i+1}^{13} p^{d_{\text{gem}}} = \frac{1}{78} \sum_{i=1}^{13} \sum_{j=i+1}^{13} p^{d(i,j)}$$

$$d_{\text{gem}} = \frac{p \log \sum_{i=1}^{13} \sum_{j=i+1}^{13} p^{d(i,j)}}{78}$$

Deze gewogen gemiddelde afstand kan gezien worden als een aanduiding voor de betrouwbaarheid van het herkenningssysteem bij een gegeven kans p op verkeerde waarneming van één kenmerk. Hoe groter deze afstand is des te betrouwbaarder is het systeem.

De waarde van p is niet a priori bekend. Om toch diverse methoden te vergelijken wordt de minimale p_{subst} als functie van p bepaald. Dit wordt gedemonstreerd aan de hand van een voorbeeld.

In het geval van herkenning van Class A tekens volgens de kenmerk methode met verticale centrering door verschuiving dient men te bepalen welke schuifrichting de voorkeur verdient. Hiertoe wordt het verschil der verwachte substitutie fouten bepaald:

$$\Delta P_{\text{subst.}} = P_{\text{subst.}} (\text{I}) - P_{\text{subst.}} (\text{II}) \quad (4)$$

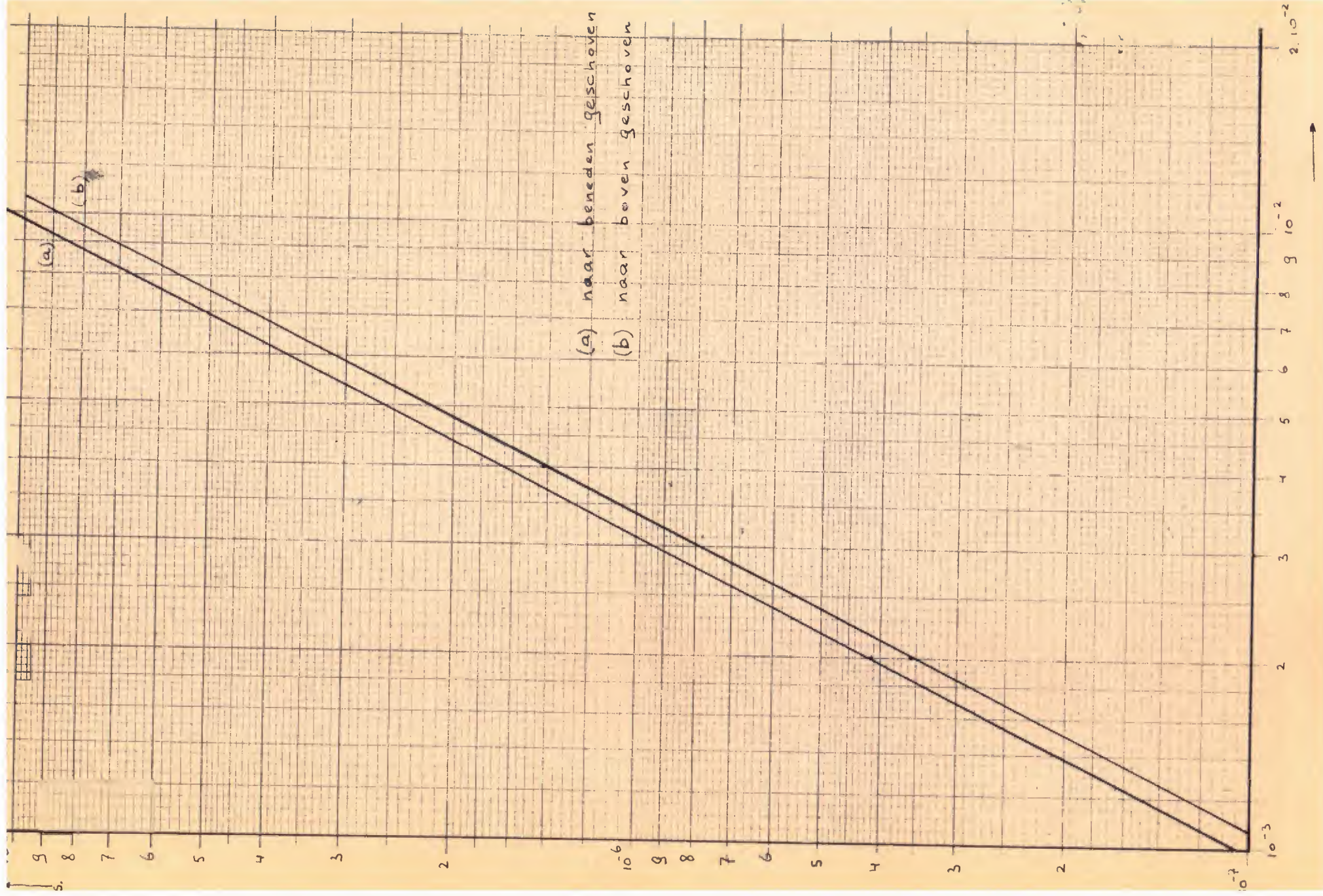
Is $\Delta P_{\text{subst.}} > 0$ dan verdient methode II de voorkeur. Methode I zij centrering volgens verschuiving naar beneden, methode II is de methode waarbij naar boven geschoven wordt.

Tabellen IV en VI leveren :

$$\Delta P_{\text{subst.}} = \frac{1}{78} (p^2 - 3p^3 + 2p^4 - 5p^5 + 4p^6 + p^8) \quad (5)$$

Deze functie is positief voor kleine p . Daar voor grotere p geen betrouwbaar leessysteem is te ontwerpen is methode II te verkiezen boven methode I. Voor een bruikbaar leessysteem zal de substitutiekans in de buurt van de $5 \cdot 10^{-6}$ tot $1 \cdot 10^{-6}$ moeten liggen. In figuur 5 is het verband tussen p (de kans op het verkeerd waarnemen van een kenmerk) en de substitutiekans uitgezet. De kurve (a) geeft dit verband bij naar beneden geschoven tekens (volgens tabel IV). De kurve (b) geeft de verwachte substitutiekans als het teken naar boven geschoven wordt. (volgens tabel VI). Voor $p \leq 10^{-2}$ kan formule (2) zeer goed benaderd worden door :

$$P_{\text{subst.}} = \frac{n}{78} \cdot p^{d_{\text{min}}} \quad (6)$$



Waarbij $\frac{n}{78}$ de relatieve frequentie van de minimale afstand in tabel IV resp. VI aanduidt. n is het aantal afstanden dat gelijk is aan deze minimale afstand.

De numerieke waarden zijn :

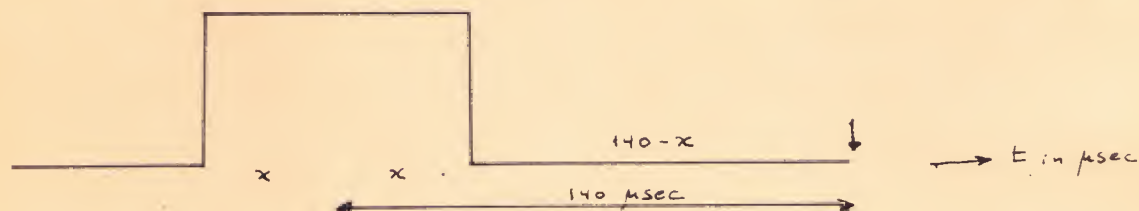
$$(a) \quad p_{\text{subst}} = \frac{8}{78} p^2 \quad (7)$$

$$(b) \quad p_{\text{subst}} = \frac{7}{78} p^2 \quad (8)$$

BIJLAGE II.

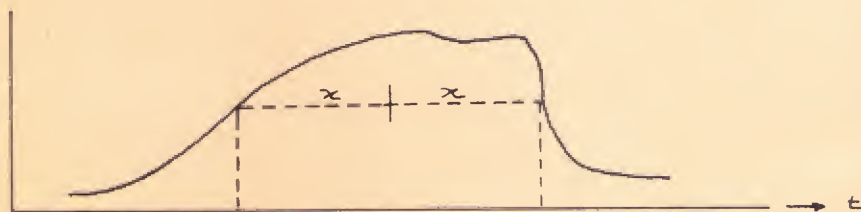
Bepaling van de afstand tussen de kolommen

De nominale streepdikte is 0.014 inch. Bij een snelheid van 100 inch per seconde komt dit overeen met een tijd van 140 usec. Nu kan de streepdikte variëren tussen de 0.008" en 0.020". De overeenkomstige tijden zijn dan resp. 80 en 200 usec. De tolerantie tussen de afstanden der middens van de strepen is echter vrij klein, namelijk 0.003" of wel 30 usec. Kan men het midden van een puls bepalen, die uit de waarnemer komt, dan weet men dat na (140 ± 30) usec de volgende kolom waargenomen kan worden. Gevraagd wordt een schakeling, die op het in de figuur aangegeven moment een leespuls opwekt.

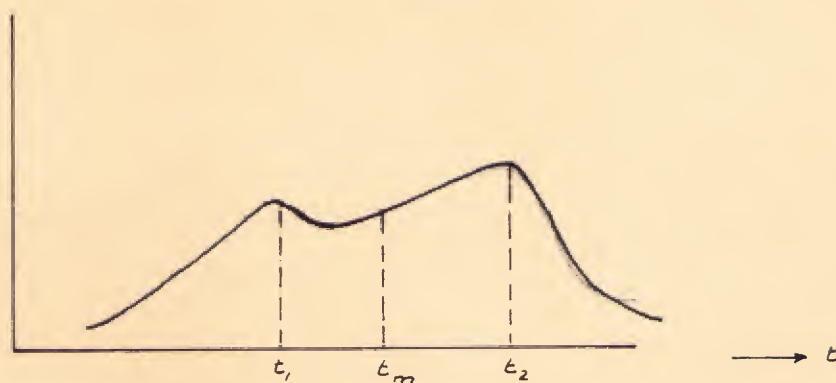


Dit kan gerealiseerd worden met een teller, die gestart wordt op het moment $t=0$ dus door de puls uit de solarcel. Deze teller loopt door tot het moment $140 + x$. Deze tijd wordt onderscheiden in de pulsduur $2x$ en de wachttijd $140 - x$; Indien de teller de puls van $2x$ usec. ziet als een puls van x usec, dan telt de teller een (konstant) aantal pulsen, namelijk $\frac{2x}{2} + 140 - x = 140$.

Dit kan bereikt worden door vóór de teller een tweedeler te plaatsen. Zolang er een hoog signaal uit de solarcel komt, wordt de klokpulsfrequentie gehalveerd. Zodra het hoge signaal wegvalt, wordt de klokpuls rechtstreeks naar de teller geleid. De klokpulsfrequentie wordt naar beneden begrensd door de gewenste nauwkeurigheid en naar boven door de optredende vertragingen. De schakeling werkt ook voor asymmetrische pulsen (zie figuur), mits alle signalen ten naaste bij dezelfde vorm hebben. Het midden der pulsen is dan wel absoluut, doch niet relatief fout.



Er bestaan circuits (13) die het moment bepalen, waarop een signaal zijn maximale waarde bereikt. In feite wordt niet het gewenste maximum gedetekteerd, doch het moment waarop de afgeleide negatief wordt. Bij een signaal als hieronder geschetst, kan dit moeilijkheden opleveren.



Moment t_1 wordt gedetekteerd, in plaats van het gewenste moment t_m of het wellicht juistere moment t_2 .